

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. Humedales	5
3.2. Tipos de humedales construidos	6
3.3. Comparación entre FWS y SF	7
3.4. Componentes de los humedales de flujo subsuperficial	7
3.4.1. Impermeabilización de fondo	8
3.4.2. Estructuras de entrada y salida del flujo	8
3.4.3. Medio granular	8
3.4.4. Vegetación	9
3.5. Mecanismos de eliminación de contaminantes	10
3.5.1. Materia en suspensión	10
3.5.2. Materia orgánica	11
3.5.3. Nitrógeno	12
3.6. Influencia de la distribución de tamaños de partículas en la eliminación de contaminantes en aguas residuales	13
3.7. Resumen de los artículos más destacados sobre la influencia de la distribución de tamaños de partículas en la eliminación de contaminantes en aguas residuales	14
3.8. Modelización cinética de la eliminación de partículas en los humedales	18
3.8.1. Cinética de reactores	19
3.8.2. Reactor de flujo en pistón	19
3.8.3. Reactor de flujo en pistón con retardo (RPF)	20
3.8.4. Reactor de flujo en pistón con dispersión longitudinal	21
3.8.5. Reactores de mezcla completa en serie (CST)	22
4. MATERIALES Y MÉTODOS	27
4.1. Descripción del sistema de tratamiento	29
4.1.1. Colector de llegada, by-pass y pretratamiento	29
4.1.2. Tratamiento primario	29
4.1.3. Tratamiento secundario: humedales de flujo subsuperficial	30
4.1.4. Arqueta de recogida de los humedales y vertido	31

4.2. Estudio experimental	31
4.2.1. Puntos de muestreo	31
4.2.2. Recogida de muestras	32
4.2.3. Análisis de muestras	33
4.3. Modelización cinética	35
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
5.1. Conteo de partículas	39
5.1.1. Primera campaña	39
5.1.2. Segunda campaña	51
5.1.3. Tercera campaña	59
5.1.4. Cuarta campaña	58
5.2. Modelización cinética	61
5.2.1. Modelización del número total de partículas	61
5.2.2. Modelización según rangos de partículas	63
5.3. Discusión de resultados	66
5.3.1. Conteo de partículas	66
5.3.2. Modelización cinética	73
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
6.1. Conclusiones	83
6.2. Recomendaciones	85
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	87
ANEJOS	89
ANEJO 1. ARCHIVO DE DATOS DE COULTER MOULTISIZER	91
ANEJO 2: CONTEO DE PARTÍCULAS	97
ANEJO 2.1: GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN	99
ANEJO 2.2. EVOLUCIÓN DE K_{TOC}	117
ANEJO 3. MODELIZACIÓN CINÉTICA	123

ÍNDICE DE FIGURAS

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Figura 3.1: Esquema de funcionamiento de un humedal de flujo superficial (FWS), (Clay Township Regional Waste District, 2004)	6
Figura 3.2: Componentes básicos de un humedal de flujo subsuperficial, (Clay Township Regional Waste District, 2004)	7
Figura 3.3: Esquema de funcionamiento de un reactor de flujo en pistón	19
Figura 3.4: Esquema de funcionamiento de un reactor de mezcla completa	22
Figura 3.5: Esquema de funcionamiento de un sistema de n tanques de mezcla completa en serie con un reactor de flujo en pistón al inicio	24

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Figura 4.1: Esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante humedales construidos de les Franqueses	28
Figura 4.2: Esquema de funcionamiento de un tanque Imhoff	30
Figura 4.3: Carrizo (Phragmites Australis)	31
Figura 4.4: Esquema de situación de los puntos de muestreo en los humedales C2 y D2	32
Figura 4.5: Coulter Multisizer II y aparato de lectura de datos	33
Figura 4.6: Pipetas, filtros y dilución utilizados para el análisis de muestras	34
Figura 4.7: Detector de CO ₂ para la determinación del TOC, “Shimadzu TOC 5000 Analyzer”	35

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 5.1: Distribución acumulada de partículas en los distintos puntos de muestreo del humedal C2, correspondiente al lunes de la campaña de junio	40
Figura 5.2: Eliminación del número total de partículas y el TOC a lo largo del humedal C2, correspondiente al lunes de la campaña de junio	41
Figura 5.3: Evolución del número de partículas según rangos de diámetros a lo largo del humedal C2, correspondiente al lunes de la campaña de junio	42
Figura 5.4: Número de partículas según rangos de diámetros contenidas en el afluente y el efluente del humedal C2, correspondiente al lunes de la campaña de junio	43
Figura 5.5: Distribución acumulada de partículas en los distintos puntos de muestreo del humedal C2 correspondiente al martes de la campaña de junio	43

Figura 5.6: Eliminación del número total de partículas y el TOC a lo largo del humedal C2, correspondiente al martes de la campaña de junio	44
Figura 5.7: Evolución del número de partículas según rangos de diámetros a lo largo del humedal C2, correspondiente al martes de la campaña de junio	45
Figura 5.8: Eliminación por días del número total de partículas a lo largo del humedal C2, correspondiente a la campaña de junio de muestreo	45
Figura 5.9: Eliminación según días del TOC a lo largo del humedal C2, correspondiente a la campaña de junio	46
Figura 5.10 Distribución acumulada de partículas en los distintos puntos de muestreo del humedal D2, correspondiente al martes de la campaña de junio	47
Figura 5.11: Eliminación del número total de partículas y el TOC a lo largo del humedal D2, correspondiente al martes de la campaña de junio	48
Figura 5.12: Evolución del número de partículas según rangos de diámetros a lo largo del humedal D2, correspondiente al martes de la campaña de junio	49
Figura 5.13: Eliminación por días del número total por de partículas a lo largo del humedal D2 correspondiente a la campaña de junio	50
Figura 5.14: Eliminación según días del TOC a lo largo del humedal D2, correspondiente a la campaña de junio	51
Figura 5.15: Eliminación por días del número total por de partículas a lo largo del humedal C2 correspondiente a la campaña de julio	52
Figura 5.16: Eliminación por días del TOC a lo largo del humedal C2 correspondiente a la campaña de julio	52
Figura 5.17: Distribución acumulada de partículas en los distintos puntos de muestreo del humedal D2 correspondiente al lunes de la campaña de julio	53
Figura 5.18: Evolución del número de partículas según rangos de diámetros a lo largo del humedal D2, correspondiente al lunes de la campaña de julio	54
Figura 5.19: Eliminación del número total de partículas y el TOC a lo largo del humedal D2, correspondiente al lunes de la campaña de julio	54
Figura 5.20: Resultado gráfico de la composición del precipitado obtenido en las muestras de las campañas de julio y agosto en el humedal D2, según un análisis de difracción de rayos X	55
Figura 5.21: Eliminación por días del número total por de partículas a lo largo del humedal C2, correspondiente a la campaña de agosto	57
Figura 5.22: Eliminación por días del TOC a lo largo del humedal C2 correspondiente a la campaña de agosto	57
Figura 5.23: Eliminación según días del número total de partículas a lo largo del humedal C2, correspondiente a la campaña de diciembre de muestreo.....	59
Figura 5.25: Eliminación según días del número total de partículas a lo largo del humedal D2 correspondiente a la campaña de diciembre	60
Figura 5.26: Eliminación por días del TOC a lo largo del humedal D2 correspondiente a la campaña de diciembre	61

Figura 5.27: Modelización cinética de la eliminación del número total de partículas en el humedal C2, campaña de diciembre, según cuatro modelos hidráulicos	62
Figura 5.28: Evolución de K_{TOC} en el humedal D2 según los datos obtenidos en el muestreo correspondiente a la campaña de junio	68
Figura 5.29: Eliminación del número total de partículas y el TOC a lo largo del humedal C2, correspondiente al lunes de la campaña de agosto	69
Figura 5.30: Evolución del CH_3COOH a lo largo del humedal C2 para tres de los días de muestreo de la 1ª campaña de muestreo, correspondiente al mes de julio	71
Figura 5.31: Concentración de TOC frente a la concentración de ácido acético, correspondiente al miércoles de la campaña de junio	72
Figura 5.32: Ajuste mediante el modelo CST para los valores de T_{delay} proporcionados en la literatura	74
Figura 5.33: Comparación de la eliminación de partículas según rangos, para la campaña realizada en junio en el humedal C2	75

ÍNDICE DE TABLAS

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Tabla 3.1 Características de los medios granulares usados en los humedales construidos de flujo subsuperficial (Arias, 1998)	9
Tabla 3.2 Especies de plantas emergentes más utilizadas para depuración de aguas residuales y condiciones de mantenimiento	10
Tabla 3.3: Orden de la modelización en función de la expresión de r	19

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 4.1: Resumen de datos del proyecto constructivo del sistema de tratamiento de aguas residuales de Can Suquet (Ruiz et al., 2000)	27
Tabla 4.2: Características físicas de los humedales construidos en Can Suquet (Ruiz et al., 2000)	30
Tabla 4.3: Cargas hidráulicas utilizadas en para cada una de las campañas de muestreo	32
Tabla 4.4: Parámetros hidráulicos utilizados para la modelización cinética de las campañas de muestreo	35

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 5.1: Concentración de TOC según punto de muestreo del humedal C2, correspondiente al lunes de la campaña de junio.....	41
Tabla 5.2: Concentración de TOC según punto de muestreo del humedal C2, correspondiente al martes de la campaña de junio	44
Tabla 5.3: Concentración de TOC según punto de muestreo del humedal C2, correspondiente a la campaña de junio	46
Tabla 5.4: Concentración de TOC según punto de muestreo del humedal D2, correspondiente a la campaña de junio	50
Tabla 5.5: Constantes y errores obtenidos para el ajuste cinético de la eliminación del número total de partículas en el muestreo de diciembre en el humedal C2	62
Tabla 5.6: Constantes obtenidas para el ajuste cinético de la eliminación del número total de partículas en los diferentes muestreos y humedales .	63
Tabla 5.7: Errores obtenidos en la eliminación de partículas totales, mediante las constantes resumidas en la Tabla 5.6, para los diferentes muestreos y humedales	63
Tabla 5.8: Constantes obtenidas para el ajuste cinético de la eliminación de partículas en los diferentes muestreos y humedales	64

Tabla 5.9: Errores obtenidos según las constantes contenidas en la Tabla 5.8, en el ajuste cinético de la eliminación de partículas en los diferentes muestreos y humedales	65
Tabla 5.10: Evolución del número total de partículas según humedal y según campaña de muestreo	66
Tabla 5.11: Evolución del número total de partículas entre 0,7 y 2 μm según humedal y según campaña de muestreo	67
Tabla 5.12: Concentraciones típicas en aguas residuales domésticas (Metcalf & Eddy, 1991)	69
Tabla 5.13: Valores de K y errores para la modelización cinética mediante PF para partículas pequeñas, según campaña y humedal, y valores medios	76
Tabla 5.14: Valores de K, R y errores para la modelización cinética mediante PF con retardo para partículas pequeñas, según campaña y humedal, y valores medios	77
Tabla 5.15: Valores de K y errores para la modelización cinética mediante PF con retardo de 3,5 d^{-1} para partículas pequeñas, según campaña y humedal, y valores medios	78
Tabla 5.16: Valores de K y errores para la modelización cinética mediante PF con dispersión para partículas pequeñas, según campaña y humedal, y valores medios	78
Tabla 5.17: Errores cometidos en el ajuste con el modelo de tanques en serie en función del parámetro t_{delay} , según humedal, campaña y rango de partículas	79
Tabla 5.18: Valores de K y errores para la modelización cinética mediante CST para partículas pequeñas, según campaña y humedal, y valores medios. [$t_{\text{delay}}(\text{C2}) = 45$ horas, $t_{\text{delay}}(\text{D2}) = 20$ horas]	80
Tabla 5.19: Resumen de resultados para cada una de las modelizaciones, según humedal	80